

東京電力(株)建設部 正会員 大橋裕寿・赤村重紀
清水建設(株)大崎研究室 正会員 〇本多 眞・鈴木 誠

1. はじめに

大規模な埋立造成等の港湾工事の設計、施工等の検討には、波浪条件を考慮する必要がある。特に港湾をケーソン式護岸で建設する場合、その据付工事の日程が多くを占めるため、稼働率の予測をすることが工期の計画に重要な要素となってくる。ケーソンの据付工事には、波浪の静穏状態（ $H_{1/3}$ が0.8m～1.2m）が3日間連続することが条件であり、これを見逃すことなく、かつ安全に施工を行うためには3日後までの波浪を精度良く予測することが必要となる。このような目的から、予測された方向別沖合エネルギーデータと当該地点で観測される波高データを現地のパソコンで統計的に解析し、沿岸波高の予測を行うシステムを開発した。本稿は開発したこの波浪予測システムの特徴について述べるものである。

2. 波浪予測モデル

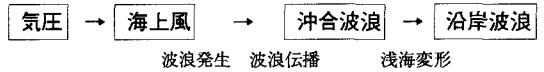


図-1 沿岸波浪発生メカニズム

図-1に沿岸波浪発生メカニズムを簡単に示す。沿岸で波が発生するまでには複雑な物理的要因が関係しており、その予測にはこれらの間の関係を結びつける様々な理論に基づいた手法が考えられている。ここでは種々検討を行った結果、沖合波浪（方向別の沖波エネルギー）の予測

までを物理モデルを用い、得られた沖合波浪と沿岸波浪の間の関係を多変量自己回帰モデルで予測を行うこととした。沖合波浪の予測は地形や水深の影響を考慮することなく、比較的簡易にかつ精度の高い予測が物理モデルを用いて計算できるのに対して、沿岸波浪の予測については、地形の遮蔽効果や浅海変形・回折等の影響を考慮して予測地点ごとに計算モデルを作成する必要がある。計算時間のかかる物理モデルを適用するのは実用的でない。そこで沖合波浪と沿岸波浪の間を方向別に沖合波浪の成分を分けて取り込むことができ、また時間遅れを考慮できる次式に示されるような多変量自己回帰モデルを今回の予測モデルとして採用した。

$$\begin{pmatrix} H(t+1) \\ E_N(t+1) \\ E_{NNE}(t+1) \\ \vdots \\ E_{NNW}(t+1) \end{pmatrix} = A(1) \begin{pmatrix} H(t) \\ E_N(t) \\ E_{NNE}(t) \\ \vdots \\ E_{NNW}(t) \end{pmatrix} + A(2) \begin{pmatrix} H(t-1) \\ E_N(t-1) \\ E_{NNE}(t-1) \\ \vdots \\ E_{NNW}(t-1) \end{pmatrix} + \dots + A(m) \begin{pmatrix} H(t+1-m) \\ E_N(t+1-m) \\ E_{NNE}(t+1-m) \\ \vdots \\ E_{NNW}(t+1-m) \end{pmatrix} + u(t)$$

ここで、 t ：時刻で現時点、 $t-1$ は2時間前で、 $t+1$ は2時間後、 $H(t)$ ：観測波高、 $E(t)$ ：方向別沖波エネルギー、 $A(m)$ ：係数マトリックス、 m ：次数、 $u(t)$ ：正規白色ノイズである。

エネルギーの方位の選定にあたっては検討基準として、情報量規準FPE(Final Prediction Error)を用いた。FPEは回帰モデルを用いて予測する場合の誤差を示す量で、これが最小となるときに次数と尤度が最適化された最も良いモデルとなる。

3. 波浪予測システムの概要

図-2は本システムの概要図である。システムは大きく3つのパソコンから成り立っている。1つ

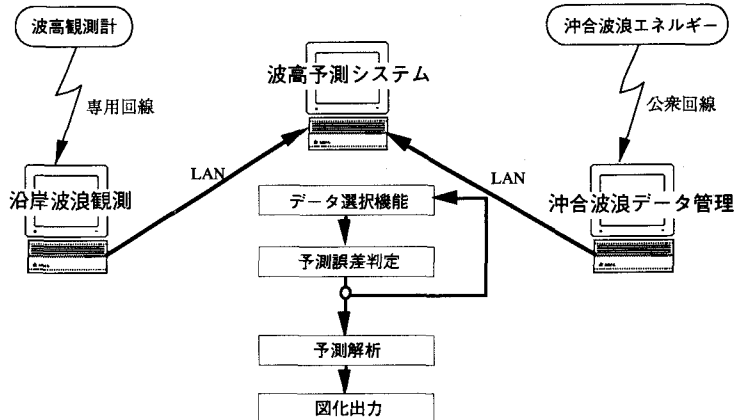


図-2 波浪予測システムの概要図

めは現地の観測波高を無線モデムを経由して受け取り、2つめは物理モデルを用いて計算された予測沖波方向別エネルギーを公衆回線で受け取る。そして3つめはこれら観測波高データおよび方向別エネルギーデータを情報ネットワーク(LAN)を結んで取り込み、多変量自己回帰モデルを用いて予測解析を実施するものである。

本システムでは予測を行うためのモデルを試行錯誤によって決める。すなわちどの方位の沖波エネルギーをモデルに取り込むかを検討する。図-3は方向別エネルギーを選定する検討画面である。図中の左の2重円の中の曲線は、各方向別エネルギーを取り入れたモデルのFPEの値を示しており、毎日自動で計算される。内側に近いほど値が小さいことを示しており、予測の際にはこの方向別FPEを参考にしながら方向エネルギーの組み合わせを決定する。そして適当な組み合わせを右側の表のFPE(2)の欄を参考に選択し、最適モデルを決める。その際、HELPキーによって各方向別のエネルギーおよび周期と実際の沿岸波高の関係を見ることができ(図-4)、この画面を参考にして方位を選択する。

このようにモデルを決めた後、沿岸波高の予測を行う。図-5は予測結果を表示している画面である。結果には現在から3日後までの予測波高と統計に用いた期間の過去の実測波高が示される。

4. おわりに

本システムは、すでに実際の護岸工事に適用されており、ケーソン据付作業の効率化および安全性の確保に寄与している。なお、具体的な予測手法の内容と適用した結果については別途報告する予定である。

参考文献

- 1) Akaike, H. (1971): Autoregressive model fitting for control, Ann. Inst. Statist. Math., Vol. 23, pp.163-180

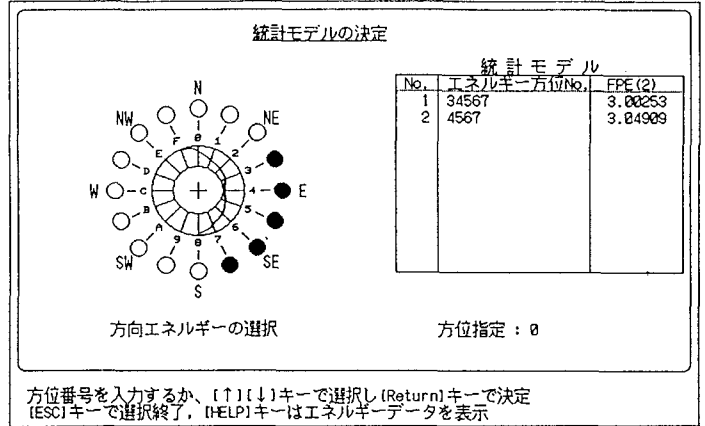


図-3 予測モデルの作成検討画面

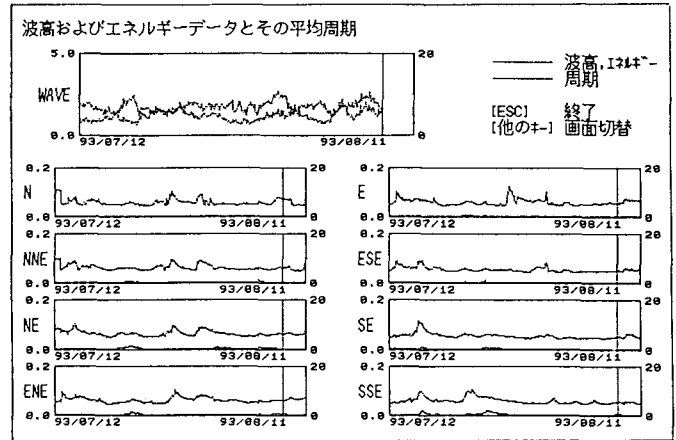


図-4 沿岸波浪データとエネルギーデータ表示画面

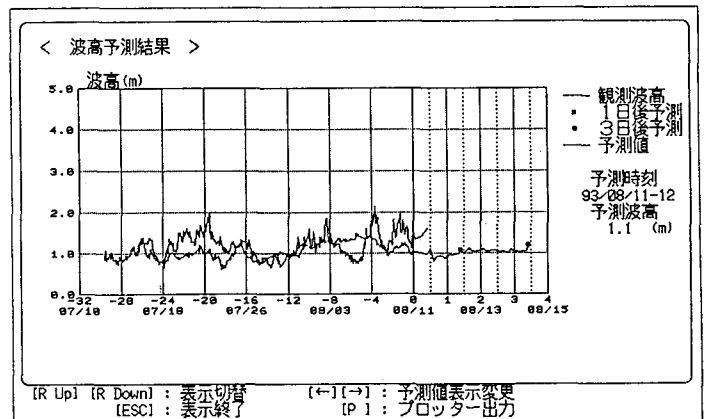


図-5 波浪予測結果表示画面